

Cumulonimbus – oblak známý i neznámý

Díl devátý – Kde leží duha 2



Petr Zacharov¹, Jana Žďárská²

¹ Ústav fyziky atmosféry AV ČR, Boční II 1401/1a, 141 31 Praha 4; petas@ufa.cas.cz

² Fyzikální ústav AV ČR, Na Slovance 2, 182 00 Praha 8; zdarskaj@fzu.cz

Duha není jenom dvojice oblouků, ale má také řadu dalších zajímavých vlastností. Některé duhy jsou vysoké, některé nízké, některé se sytými barvami a jiné rozpité, ale existují také červené duhy nebo dokonce i měsíční duha.

V minulém díle jsme nechali kapičky deště, aby nám do očí poslaly duhu. Tím však s duhou skončit nemůžeme, protože najdeme spoustu krásných vlastností, kterých jste si možná nevšimli, nebo všimli, ale stojí za připomenutí.

Při zmínce o duze se nám nejčastěji vybaví vysoký barevný oblouk. Téměř úplný půlkruh můžeme pozorovat, když je Slunce těsně nad obzorem. Pomyslný paprsek, který ze Slunce vychází, proniká hlavou pozorovatele a končí na druhé straně oblohy (která je ovšem pro pozorovatele stojícího na zemi zakryta zemí) v tzv. antisolárním bodě – ten je vůči pozorovateli na druhé straně oblohy, než je Slunce. Tento bod je středem oblouku duhy. V okamžiku, kdy Slunce stoupá po obloze,

se antisolární bod zanořuje pod obzor a výška duhy se zmenšuje. A vystoupá-li Slunce přes 40°, neuvidíme z duhy už téměř nic (obr. 1). Kužel světla, o kterém jsme mluvili v minulém dílu, má totiž osu právě na popsaném paprsku. A když je Slunce příliš vysoko, letí všechno světlo z kapiček i těsně nad povrchem země nad pozorovatele. To se v létě stává běžně také v ČR, takže v červnu v poledne u nás duhu prostě neuvidíte (obr. 2). Pokud byste ale byli na horách, v letadle nebo v balóně, viděli byste i světlo z kapiček hluboko pod vámi. Mohli byste tak duhu nebo dokonce celý kruh duhy spatřit i v poledne (obr. 3).

Pokud tedy budete chtít vidět pěknou duhu, tak nejlépe v létě odpoledne, protože letní přeháňky jsou

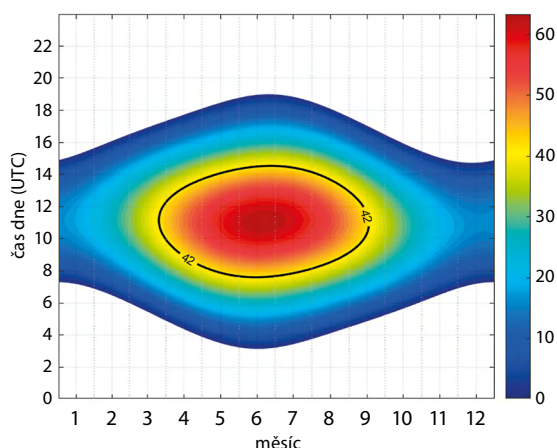


Obr. 1 Duha nízko nad obzorem vzniká při poloze Slunce naopak vysoko nad obzorem. Autor: Patti Witten, swaytothis, flickr.
com. <https://www.flickr.com/photos/pattiwitten/13194803223/>

v tuhle dobu přeci jen častější. A nezapomeňte, že Slunce musíte mít při pohledu na déšť za zády!

V prvním díle jsme si schematicky nakreslili trasu slunečního paprsku při vzniku duhy v kapce tvaru koule. Reálné kapky deště jsou však zespod zploštělé. Čím je kapka větší, tím vzdálenější je její tvar od perfektní koule. Kapky o průměru cca 5 mm už začínají vypadat spíše jako koblíha nebo donut než jako kulička. To má samozřejmě vliv i na tvar duhy, která se může jevit v horní části jako lehce zploštělá. Přiznejme si, že se při pohledu na duhu spíše kocháme jejími barvami, než že bychom měřili její zakřivení, takže si malého zploštění vůbec nevšimneme. V odborné literatuře byla dokonce zdokumentována tzv. rozdvojená duha (*twinning rainbow*), která vzniká na bimodálním spektru kapek, na přeháňkách s dvojí velikostí kapek. Na malých kapkách vzniká duha blízká kružnici, na velkých kapkách je duha u vrcholu zploštěnější, v součtu je tak u vrcholu duha rozdvojená.

Nejen tvar kapek, ale i jejich velikost výrazně ovlivňuje vzhled duhy. Na velkých kapkách s průměrem větším než cca 1 mm, jaké se vyskytují například při prudkých letních přeháňkách, vzniká duha s nejintenzivnějšími a ostře ohraničenými barvami. Při průchodu světelných paprsků menšími kapkami roste význam interference, a to způsobuje méně syté barvy a rozmazanější okraje duhy. U takových duhových oblouků se často objevují i podružné duhové oblouky — úzké, nejčastěji zelené a fialové proužky uvnitř



Obr. 2 Výška Slunce nad obzorem pro Prahu s vyznačením hranice 42°, při vyšší výšce už nebude duha na povrchu země pozorovatelná (mimo hory).

hlavní duhy, které vznikají interferencí světla a představují interferenční maxima (obr. 4). Zde už si tedy nevystačíme s geometrickou optikou, ale přecházíme do optiky vlnové.

Obecně ještě navíc platí, že široké rozdělení velikostí dešťových kapek (*drop size distribution*, DSD) duze příliš neprospívá, duha je pak méně ostrá a u menších kapek nemusejí být podružné oblouky vůbec pozorovatelné. Naopak při téměř jednotné velikosti kapek je duha kontrastnější a podružné oblouky lépe viditelné.

Pokud kapky ještě zmenšíme na velikosti typické pro mlžné kapičky (řádově desítky mikrometrů), interference světla výrazně zesílí a barvy duhy prakticky splývají v široký bělavý oblouk, kterému říkáme *mlžná duha* (obr. 5). Ideální podmínky pro její pozorování jsou typicky ráno při mělké přízemní mlze, kdy Slunce nízko nad obzorem prozařuje mlžnou vrstvu. Podobně



Obr. 3 Kruhová duha pozorovaná na vyvýšeném místě, kdy se pozorovateli do oka trefují paprsky i z kapiček hluboko pod polohou pozorovatele. Autor: Alexander Haußmann



Obr. 4 Podružné duhové oblouky uvnitř duhy prvního řádu. Autor: Petr Hykš, flickr.com

jako u klasické duhy i zde může téměř jednotná velikost mlžných kapiček umožnit pozorování slabých podružných oblouků uvnitř mlžné duhy.

Na kapičkách mlhy můžete někdy uprostřed bílé duhy pozorovat ještě jeden optický jev, a to je *glórie*. Vzniká zpětným rozptylem světla na malinkých kapičkách mlhy jako soustředné barevné kroužky okolo stínu pozorovatele. A stejně jako u duhy bude glórie nejvýraznější na kapkách přibližně stejné velikosti.

Ale zpátky k duze. Budete-li mít při pozorování duhy v kapce brýle s polarizačním filtrem nebo filtr od foťáku, zkuste se přes něj podívat na duhu a pootočit



Obr. 5 Mlžná duha. Autor: Jan Drahokoupil



Obr. 6 Duha podle představ umělé inteligence. Vzhledem k tomu, že střed duhy leží v antisolárním bodě, mohla by tato fotka vzniknout pouze na planetě se třemi Slunci.

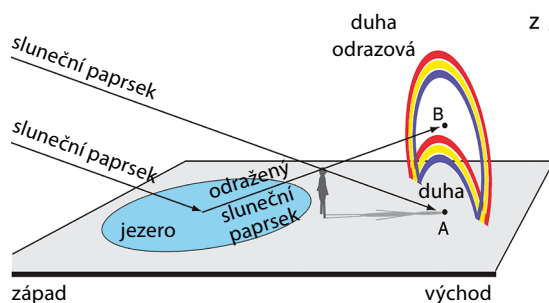
s ním. Duha buď barevně zvýrazníte, nebo pootočením vymažete z oblohy. To je důkaz jednak silně polarizovaného světla tvořícího duhu, ale také faktu, že se duha nenachází na obloze, ale v očích pozorovatele, jak jsme řešili v minulém díle.

Na sociálních sítích se můžete setkat se záhadnými duhami, které sice sbírají spoustu lajků, ale vůbec nejsou reálné. Na obr. 6 můžete vidět sice krásnou krajinu a ještě krásnější duhy, ale pravděpodobně z planety podobné Zemi, na niž však svítí hned tři Slunce najednou. Přesto můžete i na reálné Zemi vidět větší počet duh, než na které jsme zvyklí. A to v blízkosti větších vodních ploch. Sluneční paprsky odrážející se na vodní hladině totiž mohou vytvořit na obloze odražený antisolární bod výše, než je původní antisolární bod.

Je tedy zrcadlovým obrazem antisolárního bodu pod hladinou vody. Můžeme tak pozorovat ještě jednu slabou duhu – vyšší, než je původní duha prvního řádu (obr. 7). Ve výjimečných případech můžeme samozřejmě spatřit i odrazovou duhu druhého řádu, pozorovali bychom tak duhy čtyři. A to nemluvě o tom, že se duhy mohou zrcadlit na vodní hladině a viděli bychom ještě klasickou duhu, odraženou od vodní hladiny a také odraženou duhu odrazovou...

Při západu (a někdy i východu) slunce můžete někdy pozorovat *červenou duhu*, která vznikla na slunečním světle s rozptýleným modrým světlem. Stejným principem vznikají červánky. Duha i světlo uvnitř duhy tak bude mít převahu červené barvy. A úplně raritní je měsíční duha. Princip je stejný, jen se sluneční světlo musí ještě před vznikem duhy odrazit od Měsíce. Intenzita světla je daleko nižší, a proto i šance na spatření duhy je velmi nízká.

Svět duhy je tedy mnohem bohatší a pestřejší, než si většina z nás představuje. Není to jen obyčejný oblouk, ale dynamický úkaz, jehož podoba se mění s každou kapkou, s každým paprskem a s každým naším krokem. Doufám, že vás zákulisí duhy inspirovalo k tomu, abyste se příště při pohledu na duhu zastavili o chvíli déle. Pozorujte, zkoumejte a nech-



Obr. 7 Schéma vzniku odrazové duhy. Po odrazu slunečních paprsků na vodní ploše vzniká odrazový antisolární bod (B) nad standardním antisolárním bodem (A). Odrazová duha je tedy nad duhou prvního řádu.

te se okouzlit nejen jejími barvami, ale i dokonalou souhrou fyzikálních zákonů, která nám toto nebeské divadlo připravila.



Obr. 8 Červená duha na přeháňce se vzdáleným bleskem. Autor: Dagmar Drahokoupilová